

**ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО МАЛЫХ ОЗЕР СЕВЕРО-ВОСТОКА  
ПРИМОРЬЯ**

**Т.Н. Луценко, Е.Н. Чернова, Е.В. Лысенко**

*Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, ул. Радио, 7,  
Владивосток, 690041, Россия. E-mail: luts@tig.dvo.ru*

Исследовано органическое вещество (ОВ) озер северо-восточного Приморья лагунного типа (Духовские, Голубичное, Благодати, Японское) и озера тектонического происхождения (Васьковское). Содержание углерода растворенного органического вещества (РОВ) в воде варьировало от 1,9 до 8,6 мг/л, при среднем 5,0 мг/л, составляя 75–90 % общего органического углерода. Состав озерной взвеси по содержанию органического углерода варьирует в диапазоне от 8 до 40 % от массы взвеси. Для исследуемых вод спектральный коэффициент воды  $A_{254}$  изменялся от 1,99 до 4,96 л/мг×м. Исследования показали, что изученные семь озер северо-востока Приморья по содержанию углерода РОВ и ВОВ, обогащенности взвеси органическим веществом и соотношению аллохтонных и автохтонных компонентов РОВ существенно различаются, отражая высокую вариабельность биогеохимических факторов среды.

**ORGANIC MATTER OF SMALL LAKES OF THE NORTH-EAST OF PRIMORYE**

**T.N. Lutsenko, E.N. Chernova, E.V. Lysenko**

*Pacific Institute of Geography, FEB RAS, 7 Radio Str., Vladivostok, 690041, Russia.  
E-mail: luts@tig.dvo.ru*

Organic matter of the lagoon type lakes of the north-east Primorye (Dukhovskoye, Golubichnoye, Blagodati, Yaponskoye) and tectonic Vaskovskoye Lake has been studied. The carbon content of dissolved organic matter (DOM) in water varied from 1,9 to 8,6 mg/l with an average of 5,0 mg/l, thus representing 75–90 % of the total organic carbon. In the composition of suspended solids the carbon of particulate matter organic (POM) changed in the range of 8 to 40 %. Absorption spectral coefficient  $A_{254}$  of water varied from 1,99 to 4,96 L/mg × m. Seven studied lakes vary considerably on the carbon concentration of DOM and POM, carbon content in the particulate matter and the ratio of allochthonous and autochthonous DOM. High variability of environmental factors is remarked.

Круговорот органического вещества (ОВ) обеспечивает функционирование водных экосистем. В водоемах ОВ является звеном пищевой цепи и участвует в реакциях сорбции-десорбции, коагуляции, осаждения, комплексообразования, фотолитиза и др.

Озера лагунного типа представляют собой результат взаимодействия морских и сухопутных экосистем. Некоторые из них потеряли связь с морем и стали пресными. Малым озерам лагунного типа северо-восточного Приморья до сих пор не уделялось достаточного внимания исследователей. За исключением одной работы, выполненной ТИНРО в 90–е годы (Разработка..., 1990) на Духовских озерах, нам не удалось найти публикаций, освещающих биогеохимию малых, в том числе солоноватоводных озер территории. Целью данной работы было дать оценку содержания растворенного органического углерода (РОВ) и взвешенного органического углерода (ВОВ); охарактеризовать РОВ по оптическим

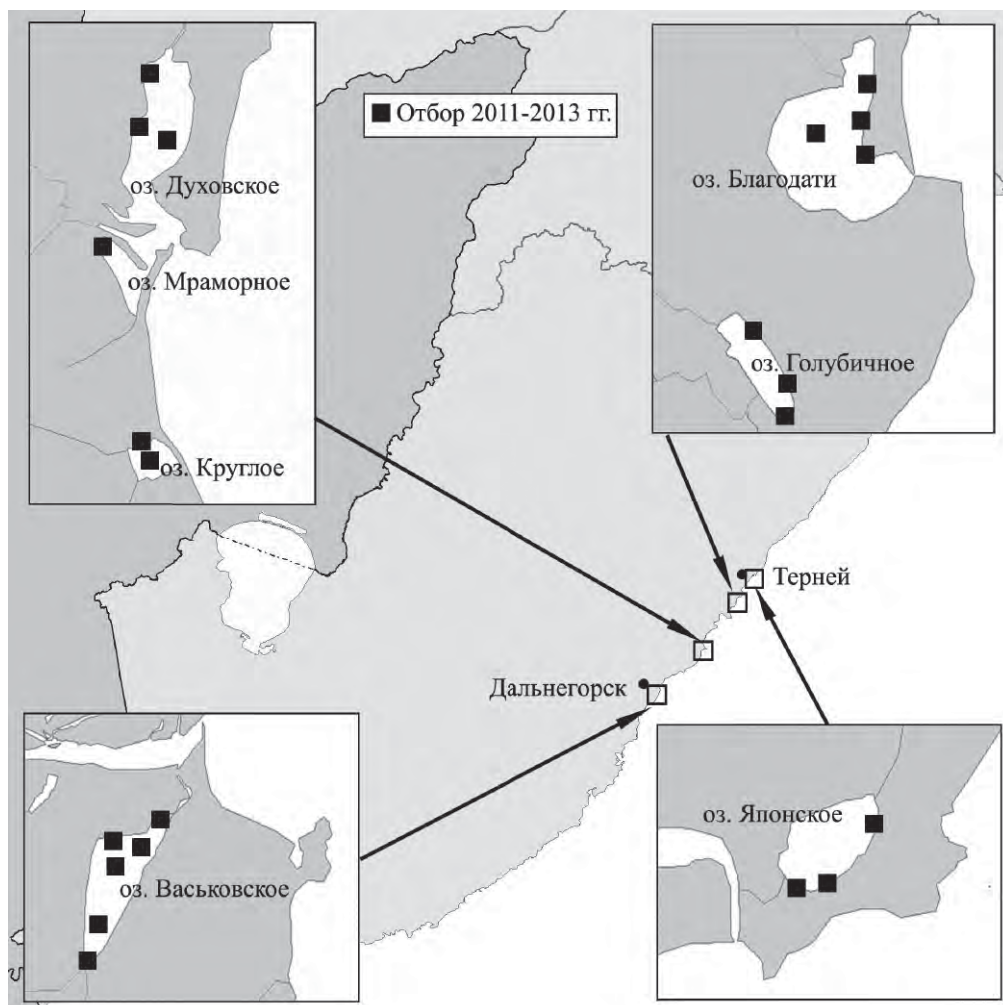


Рис. 1. Карта-схема района работ с точками отбора проб.

свойствам в озерах лагунного типа (Духовские, Голубичное, Благодати, Японское) и озере тектонического происхождения (Васьковское) северо-восточного Приморья.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Пробы озерной воды были отобраны в ходе экспедиционных исследований в июле 2011, июле 2012, августе и октябре 2013 г. Пробоотбор выполнен в южной, западной и северной частях озера Васьковского, а также во впадающем ручье. Оз. Духовское опробовано у северо-западного и западного берега. Оз. Мраморное опробовано в юго-западной части, оз. Круглое – у северного берега. На оз. Благодати пробы отобраны вдоль восточного песчаного берега, на оз. Голубичном – в северной и юго-восточной частях, на оз. Японском – у северо-восточного и юго-западного берегов (рис. 1). Пробы отбирали в пластиковые канистры. В 2011 г. – вручную, без использования плавучих средств, из подповерхностного горизонта, в точках с глубиной 1,0–1,2 м. В 2012 г. – с резиновой лодки из подповерхностного горизонта, в точках с глубиной 1,0–1,2 м, а также, в средней части озер. Кроме того, в оз. Васьковском – с горизонтов подповерхностный, 5 и 8 м, и в точке с наибольшей глубиной – батометром.

Таблица 1

## Морфометрические характеристики озер северо-востока Приморья

Озера	Площадь акватории, км <sup>2</sup>	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Удельный водосбор	Площадь болот, км <sup>2</sup>	Заболоченность водосбора, %
Васьковское	0,36	15,8	43,9	0,53	3,4
Круглое	0,27	10,3	38,1	0,29	2,8
Голубичное	0,45	6,1	13,6	3,67	60,2
Японское	0,43	7,17	16,6	0,5	7,0
Мраморное	0,37	2,9	7,8	1,07	37,2
Духовское	1,47	180	122,4	4,40	2,4
Благодати	2,04	26,2	12,8	5,54	21,1

Озера Духовское, Мраморное и Круглое находятся в Тернейском районе Приморского края, используются для рекреационных целей. Оз. Духовское – солоноватое, сильно вытянутое с севера на юг и юго-восток, соединяется протокой с бухтой Озёра. Максимальные глубины озера 4 м. В северную, наиболее заболоченную часть озера, впадает крупный ручей Третий Распадок. В южную часть озера впадает река Кедровка. Грунт литорали северо-западного и западного берега – илесто-песчаный, по мере продвижения на юг сменяется более каменистым.

Данные по площади акваторий и бассейнов изучаемых озер приводятся в табл.1.

Оз. Мраморное – солоноватое, отделено от озера Духовского перешейком, соединено с бухтой Озёра небольшой протокой. Наибольшие глубины, как и у озера Духовское, находятся в центральной части акватории и составляют 4 м. Грунт у северного берега – песчаный ил с сильным запахом сероводорода и зарослями рдеста (*Potamogeton* sp.) и урути (*Myriophyllum spicatum*). Этот участок озера располагается в 30 м от грунтового участка дороги Владивосток–Терней.

Оз. Круглое – пресное, отделено от бухты Озёра широкой песчаной косой, соединяется с морем стоковой протокой; вследствие этого минерализация его вод невелика и озеро относится к резко пресным. Грунт литорали галечный и разнозернисто-песчаный, в северной части – с редкой растительностью.

Озера Благодати и Голубичное находятся в Тернейском районе Приморского края на территории Сихотэ-Алинского биосферного государственного заповедника (САБГЗ) – это озера лагунного типа. Оз. Благодати – солоноватое, отделено от бухты Удобной узким перешейком, открывающимся в море протокой в периоды высокой водности. Северо-западная часть озера заболочена. В северную, куттовую часть озера впадает единственный относительно крупный ручей Озерный. Грунт литорали восточного берега от куттовой, более северной части, по мере продвижения к югу меняется с песчано-илистого на каменистый. Практически вся восточная часть литоральной зоны занята полосой водно-болотной растительности (*Potamogeton* sp. и *Myriophyllum spicatum*). Несмотря на то, что периодически в озеро попадают морские воды, из-за его небольшой глубины (не более трех метров), вода в озере относительно однородна по величине минерализации за счет хорошего перемешивания (Лысенко, 2011). Оз. Голубичное – пресное, отделено от оз. Благодати перевалом Голубичным, стока не имеет. В озеро впадает река Голубичная. Грунт литорали с северо-западной и юго-восточной стороны – каменисто-песчаный, с зарослями камыша (*Scirpus tabernaemontani*).

Оз. Васьковское находится в Дальнегорском районе Приморского края и имеет тектоническое происхождение. Озеро вытянуто с юга на север, длина около 1,4 км, наибольшая глубина составляет 9 м. Озеро пресное, используется как источник питьевой воды для поселка Рудная Пристань, расположенного севернее в 2,5 км. На берегу находится пос. Смычка и одноименная научно-экспедиционная станция ТИГ ДВО РАН. В южную часть

озера впадает питающий его ключ Васьковский длиной около 4 км, протекающий по заболоченной территории. Грунт литорали озера песчаный с растительными остатками.

Самым маленьким является оз. Круглое (0,27 км<sup>2</sup>), примерно в пять раз больше акватория самого большого из шести озер – Благодати (1,47 км<sup>2</sup>). Еще значительнее озера варьируют по площади водосборов: от 2,9 км<sup>2</sup> у оз. Мраморного до 180 км<sup>2</sup> – у оз. Благодати. Площадь болот в водосборных бассейнах озер оценена по топографическим картам, вариации значений составили от 0,29 до 5,54 км<sup>2</sup> (табл. 1).

Район исследования относится к Восточно-Сихотэ-Алинской горно-приморской провинции. Водосборные бассейны озер принадлежат, в основном, к низкогорьям с широколиственной растительностью. Основной растительной формацией здесь являются дубовые леса из дуба монгольского и их редколесья (Атлас..., 2005).

Климат района исследований умеренно-прохладный, избыточно-влажный, среднегодовое количество осадков 700–800 мм. Почвы бассейнов Духовских озер относятся, в основном, к горно-лесным бурым сильнокислым и кислым, лесным бурым глееватым и глеево-оподзоленным; в пойменных ландшафтах это задернованные слоисто-пойменные, задернованные иловато-глеевые, дерново-перегнойные и дерново-торфянисто-глеевые почвы. Почвы водосборов озер САБЗ луговые глеевые, торфянисто- и торфяно-глеевые почвы приустьевых частей долин рек. На пологих склонах это дерново-глеевые почвы на глинистом элювии (Иванов, 1976).

В день отбора в лаборатории измерялся рН и определялась щелочность (рН-метр CG843P, Schott). Пробы фильтровались от частиц взвеси с помощью ручного вакуумного насоса SM 16673 через полимерный мембранный фильтр (Durapore) 0,45 мкм. Фильтраты хранили в холодильнике. В лаборатории геохимии ТИГ ДВО РАН выполняли анализ макроэлемента проб и определение концентраций биогенных элементов. Содержание углерода РОВ определяли методом термokatалитического окисления с ИК-регистрацией (анализатор TOC-VCPN, Shimadzu). Для каждой пробы выполнялась трехкратная автоматическая инъекция. Коэффициент вариации анализа проб и стандартов не превышал 2 %. Пробы солоноватых озер в ходе анализа (Духовское, Благодатное, Мраморное) разбавлялись бидистиллированной водой так, чтобы соленость вод не превышала 3 ‰. Электронные спектры поглощения фильтратов были записаны в интервале длин волн 200–600 нм на спектрофотометре Shimadzu UV-2450 PC в кварцевой кювете толщиной 1 см относительно бидистиллированной воды. Для определения углерода BOB пробы воды были отфильтрованы под вакуумом через стекловолоконные фильтры Whatman GF/F с диаметром пор 0,7 мкм, предварительно прокаленные при температуре 450 °C в течение 2 часов. Концентрацию углерода BOB определяли методом каталитического сжигания (TOC-V<sub>CPN</sub>, Shimadzu) с использованием модуля для анализа твердых образцов SSM-5000A.

### Результаты и обсуждение

Основными факторами, определяющими уровень концентраций и состав ОВ озерных вод, являются гидрологический режим, ландшафтная структура водосборов, биогеохимические особенности внутриводоемных процессов. При равном влиянии гидрологического режима на исследуемые малые озера, действие и вклад таких факторов, как величина площади водосбора, соотношение ее с площадью акватории, интенсивность водообмена, доля болотных участков, перепад высот, доля морских вод, в солоноватоводных озерах проявляется совершенно по-разному и это делает каждое из озер уникальным и не похожим на остальные.

Массовая концентрация взвешенного вещества (ВВ) в малых озерах невелика: 1,5–10,7 мг/л со средним значением 4,5 мг/л (табл. 2). Количество взвеси зависит от гидрологического режима, типа дренируемых почв, состава пород и геоморфологических особенностей водосбора. Это было очевидно по особенно резкому (в 5 раз) увеличению содержания взвеси в высоководный 2013 г. в воде оз. Васьковское, благодаря крутосклон-

Таблица 2

Некоторые гидрохимические показатели озерных вод (средние данные за 2011–2013 гг.)

Озеро	$C_{\text{общ.}}$ , мг/л	$C_{\text{РОВ}}$ , мг/л	$C_{\text{РОВ}}$ , %	$C_{\text{ВОВ}}$ , мг/л	$C_{\text{ВОВ}}$ , %	ВВ, мг/л	$C_{\text{ВВ}}$ , %
Васьковское	4,3	3,8	88,4	0,5	11,6	4,9	14,3
Голубичное	8,4	7,0	83,3	1,4	16,7	2,9	20,1
Круглое	2,9	2,6	89,7	0,3	10,3	2,2	11,9
Японское	7,5	6,6	88,0	0,9	12,0	3,8	23,5
Благодати	10,6	7,9	74,5	2,7	25,5	6,8	40,0
Духовское	4,8	4,2	87,5	0,6	12,5	7,7	8,1
Мраморное	2,7	2,4	88,9	0,3	11,1	1,5	21,6

ным хребтам, ограничивающим его водосбор с запада и востока. Средние значения содержания взвеси 7–8 мг/л установлены в июле-августе для солоноватых озер Благодати и Духовского. Для остальных озер средние концентрации взвеси в этот период варьировали в интервале 1,5–5,0 мг/л. В октябре, когда в Приморье заканчивается сезон дождей и устанавливается сухой сезон, в озерах Благодати, Васьковском, Духовском и Японском содержания взвеси были на 40–50 % ниже, однако для озер Круглого и Голубичного этот тренд не был характерным.

Средняя концентрация общего органического углерода ( $C_{\text{общ.}}$ ) в озерных водах изменялась от 2 до 11 мг/л (табл. 2). Содержание углерода РОВ в воде исследованных озер варьировало от 1,9 до 8,6 мг/л, при средней величине 5,0 мг/л, представляя таким образом 75–90 % общего органического углерода. Доля углерода в составе взвешенного органического вещества невысока: 10–25 %. В озерах Голубичном и Благодати средние концентрации углерода РОВ и ВОВ были самыми высокими по сравнению с другими озерами, что можно объяснить высокой степенью заболоченности их водосборов (60 и 21 % соответственно). Предполагается, что более масштабное поступление органического углерода здесь происходит за счет функционирования болотных экосистем. Однако, доля углерода РОВ в озерах Благодати и Голубичном самая низкая (75 и 83 %), а доля углерода ВОВ – самая высокая (25,5 и 16,7 %), что можно объяснить коагуляцией высокомолекулярных фракций РОВ болотного генезиса, особенно в условиях солоноватоводного оз. Благодати.

В особом положении находится озеро Мраморное: при достаточно высоком вкладе болот в его водосборный бассейн (до 37 %), уровень углерода РОВ здесь составлял всего 1,9–3,0 мг/л, при средней величине 2,4 мг/л. Причиной может быть специфическая геохимическая обстановка озера, сформировавшаяся благодаря низкой величине удельного водосбора и слабого водообмена (Разработка..., 1990). Сероводородный запах, черный цвет донных осадков и наблюдаемое снижение концентрации кислорода в придонном слое воды свидетельствуют об анаэробных условиях разложения органических веществ, сульфат-редукции и осаждении сульфидного железа. Возможно, в этих условиях происходит соосаждение и выведение из раствора некоторых фракций РОВ (Луценко и др., 2012). Характерные признаки процесса сульфат-редукции были отмечены и в литоральной зоне протоки, соединяющей озеро Благодати с морем, а также в вершинной, кутовой части озера Духовское.

Оз. Японское занимает промежуточную позицию: среднее содержание углерода РОВ здесь достаточно высокое – 6,6 мг/л и эта форма представляет в общем углероде 88 %. Но, в отличие озер Благодати и Голубичного, для оз. Японского доля болотных ландшафтов на водосборе составляет лишь 7 % и генезис его желтоватых вод пока остается неясным.

Состав озерной взвеси по содержанию органического углерода варьирует очень сильно, средние данные изменяются от 8 до 40 % от массы взвеси. Воды озера Благо-



дати содержат наиболее обогащенный органическим углеродом взвешенный материал (до 40 %). Даже визуально взвесь этого озера, высаженная на фильтры, выделяется своей яркой зеленоватой окраской, очевидно связанной с присутствием большого количества фитопланктона. В озерах Голубичном, Японском и Мраморном взвесь обогащена органическим углеродом на 20–23 %. Озера Духовское, Круглое, Васьковское содержат взвешенный материал, в наименьшей степени обогащенный органическим веществом: углерод здесь не превышает 8–14 %.

УФ-спектроскопия может представить некоторую структурную информацию об органическом веществе вод. На основе структурных исследований РОВ, гуминовых кислот и фульвокислот различного происхождения показано, что в первом приближении спектроскопические характеристики могут быть использованы для сравнительной оценки степени ароматичности структуры и молекулярных масс (ММ) водного РОВ (Chin et al., 1994; Peuravuori, Pihlaia, 1997; Weishaar et al., 2003). Чем выше  $A_{254}$ , тем выше вклад РОВ ароматической структуры аллохтонного происхождения (РОВ гумусовых веществ).

Оптические свойства вод на юге Дальнего Востока изучались в оз Ханка (Апонасенко и др., 2000) и озере Чаган (Chagan) провинции Цзилинь, КНР (Wang et al., 2011), но в отличие от изучаемых нами озер, это озера лессового типа, для которых характерно высокое содержание взвеси.

Для исследуемых вод коэффициент  $A_{254}$  изменялся от 1,99 до 4,96 л/моль·м. Самое высокое значение коэффициента  $A_{254}$  соответствует водам ручья, дренирующего заболоченную Васьковскую падь и питающего озеро Васьковское (4,96 л/моль·м). Уже на акватории оз. Васьковского компоненты РОВ имеют меньшие ММ и большую алифатичность, здесь  $A_{254}$  изменяется в диапазоне 2,86–4,18 л/моль·м при среднем 3,46 л/моль·м. Поскольку время нахождения РОВ в озере больше, чем в водотоке, и озера представляют собой экосистемы с более высокой фотосинтетической активностью, меняется не только концентрация РОВ (по сравнению с питающим ручьем), но и его химическая природа в сторону более алифатичного РОВ углеводной химической природы.

Средние величины  $A_{254}$  озер меняются в узком интервале 3,15–3,80 л/мг·м (рис. 2). Наибольшей степенью поликонденсации и величиной ММ характеризуются воды озера

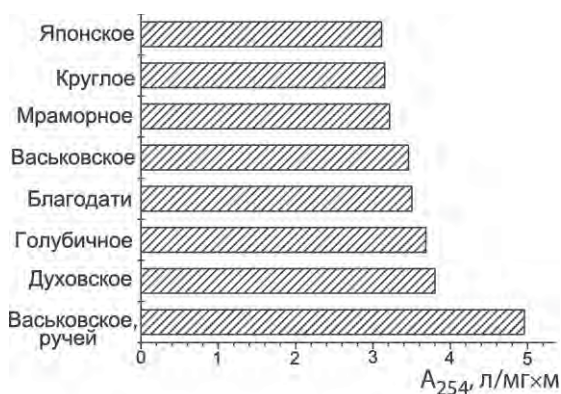


Рис. 2. Величина спектрального коэффициента  $A_{254}$  в воде озер северо-востока Приморья.

Духовского, для которых значение  $A_{254}$  варьировало от 3,80 до 4,93 л/мг·м, при этом наибольшая величина соответствует станции в вершине озера, очевидно, здесь прослеживается болотный генезис РОВ. Площадь водосбора оз. Духовского несравнимо больше, чем остальных озер и этот фактор может обеспечивать дополнительное поступление терригенного РОВ. Градиент солёности, наблюдаемый между станциями, может являться причиной коагуляции и осаждения высокомолекулярных, наиболее конденсированных фракций РОВ.

Близкими значениями  $A_{254}$  и относительно сходным соотношением автохтонного и терригенного РОВ характеризуются воды озер Голубичное и Благодати. В озере Благодати, как самом солёном, коагуляция и осаждение высокомолекулярных фракций РОВ имеет, вероятно, наибольший масштаб.

Широкий интервал вариаций  $A_{254}$  (от 2,24 до 4,07 л/мг·м) определен для озер Японское, Круглое, Мраморное при сходных и минимальных средних значениях.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что изученные семь озер северо-востока Приморья по содержанию углерода РОВ и ВОВ, обогащенности взвеси органическим веществом и соотношению хромофорных терригенных и бесцветных автохтонных компонентов РОВ существенно различаются, отражая высокую вариабельность биогеохимических факторов среды.

При сходном влиянии гидрологического режима на малые озера, действие таких факторов, как величина площади водосбора, соотношение ее с площадью акватории, интенсивность водообмена, высокое разнообразие форм рельефа, доля болотных участков, перепад высот, сложность структуры растительного и почвенного покрова, вклад морских вод в солоноватоводных озерах и т.д. проявляется совершенно по-разному и это делает каждое из озер уникальным и не похожим на остальные.

### ЛИТЕРАТУРА

- Апонасенко А.Д., Лопатин В.Н., Щур Л.А. и др. 2000.** Современное состояние озера Ханка по некоторым гидробиологическим и гидрофизическим показателям // Изв. ТИНРО. Т. 127. С. 535–558.
- Атлас лесов Приморского края. 2005.** Владивосток: ДВО РАН. 76 с.
- Иванов Г.И. Почвообразование на юге Дальнего Востока. 1976.** М.: Наука. 198 с.
- Луценко Т.Н., Лысенко Е.В., Чернова Е.Н. 2012.** Растворенное органическое вещество в озерах лагунного типа (северо-восток Приморья Россия) // Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах: материалы V всеросс. симпоз. с межд. участием, Петрозаводск, Республика Карелия, 10–14 сент. 2012 г. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. С. 338–342.
- Лысенко Е.В. 2011.** Макрокомпонентный состав вод ряда озер восточного Сихотэ-Алиня // VI Регион. школа-семинар молодых ученых, аспирантов и студентов «Территориальные исследования: цели, результаты и перспективы». Тез. докл. Биробиджан. С. 31–33.
- Разработка биологического обоснования на рыбохозяйственное использование некоторых озер Тернейского района: Духовское, Мраморное, Круглое. 1990.** / Отчет о НИР. // ТИНРО. № 21718. Владивосток. 37 с.
- Chin Y.-P., Aiken G. and O'Loughlin E. 1994.** Molecular weight, polydispersity, and spectroscopic properties of aquatic humic substances // Environ Sci. Technol. V. 28. P. 1853–1858.
- Peuravuori J., Pihlaia K. 1997.** Molecular size distribution and spectroscopic properties of aquatic humic substances // Anal. Chim. Acta. V. 337. P. 133–149.
- Wang Y., Liu D., Song K. et al. 2011.** Characterization of water constituents spectra absorption in Chagan Lake of Jilin Province, Northeast China // Chin. Geogr. Sci. V. 21, N 3. P. 334–345.
- Weishaar J., Aiken G., Bergamaschi B., Fram M., Fugii R., Mopper K. 2003.** Evaluation of specific ultraviolet absorbance as an indicator of the chemical composition and reactivity of dissolved organic carbon // Environ. Sci. Technol. V. 37. P. 4702–4708.